aThis Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning documents *will not* correct images, please do not report the images to the Image Problem Mailbox.

S1 1 PN="DE 19711484"

?t 1/9/1

1/9/1

DIALOG(R)File 351:Derwent WPI

012031365 **Image available**

WPI Acc No: 1998-448275/*199839*

XRPX Acc No: N98-349482

Computerised optimised imaging by modelling software - optimising evaluation function giving derivatives of measured values of model

Patent Assignee: SIEMENS AG (SIEI)

Inventor: WAGENHUBER J

Number of Countries: 004 Number of Patents: 004

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week	
DE 19711484	C1	19980903	DE 1011484	A	19970319	199839	B
GB 2325316	A	19981118	GB 985923	A	19980319	199848	
JP 10269195	A	19981009	JP 9865575	A	19980316	199851	
US 6025845	A	20000215	US 9831971	A	19980227	200016	

Priority Applications (No Type Date): DE 1011484 A 19970319

Patent Details:

Patent No	Kind	Lan	Pg	Main IPC	Filing Notes
DE 19711484	C1		8	G05B-017/00	
JP 10269195	A		7	G06F-017/00	
US 6025845	A			G06F-015/00	
GB 2325316	A			G06F-017/50	

Abstract (Basic): DE 19711484 C

An optimised imaging method for a system by means of a computer involves solving a modelling problem of an I/O system such that an evaluation function which gives (yields) the deviations of the measured values of the model, is optimised where gradients, such as on one hand, the derivative of the evaluation function according to system parameters, and on the other hand, the derivative of the evaluation function according to an initial state vector, are minimised.

USE - For complex technical systems, such as chemical process.

ADVANTAGE - Modelling error during imaging of real system is minimised.

Dwg.1/1

Title Terms: COMPUTER; OPTIMUM; IMAGE; MODEL; SOFTWARE; OPTIMUM; EVALUATE; FUNCTION; DERIVATIVE; MEASURE; VALUE; MODEL

Derwent Class: T01; T06

International Patent Class (Main): G05B-017/00; G06F-015/00; G06F-017/00; G06F-017/50

File Segment: EPI

Manual Codes (EPI/S-X): T01-J15H; T06-A07B; T06-D10

This Page Blank (uspto)

B2 98P 5868

(19) BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES PATENTAMT

[redacted] Pat ntschrift [redacted]

(10) **DE 197 11 484 C 1**

(51) Int. Cl.⁶: ^{6}
G 05 B 17/00
// G06F 17/10

(2

DE 197 11 484 C 1

(21) Aktenzeichen: 197 11 484.9-51
(22) Anmeldetag: 19. 3. 97
(43) Offenlegungstag: –
(45) Veröffentlichungstag der Patenterteilung: 3. 9. 98

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

(73) Patentinhaber:
Siemens AG, 80333 München, DE

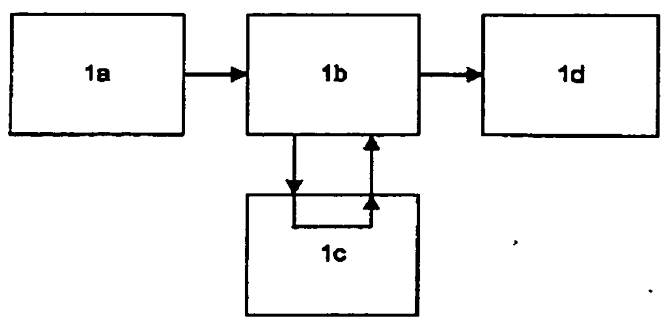
(72) Erfinder:
Wagenhuber, Josef, Dr., 85302 Gerolsbach, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

H. Guay, D.D. Mc Lean: Optimization and Sensitivity Analysis for Multiresponse Parameter Estimation in Systems of ordinary Differential Equations in: Computers chem. Engn., Vol. 19, Nr. 12 pp. 1271-1285, 1995, Elsevier Science Ltd.;
C.F. Weber, E.C. Beahm, J.S. Watson: Optimal Determination of Rate coefficients in Multiple-Reaction Systems, in: Computer Chem., Vol. 16, No. 4, pp. 325-333, 1992;
Berard Marcos, Guy Payre: Parameter Estimation f an Aquatic Biological System by the Adjoint Method, in: Mathematics and Computers in Simulation 30 (1988), pp. 405-418, North-Holland, Elsevier Science Publishers B.V.;
PULI, Günter Wozny: Dynamische Optimierung großer chemischer Prozesse mit Kollokationsverfahren am Beispiel Batch-Destillation in: at-Automatisierungstechnik 45 (1997)3, S. 136-143;

(54) Verfahren zur Abbildung eines technischen Systems durch einen Rechner

(57) Es wird ein Verfahren beschrieben, das ein Modellierungsproblem eines Ein-Ausgabe-Systems dadurch löst, daß eine Bewertungsfunktion, die Abweichungen von gemessenen Ausgangswerten des realen Systems von den Ausgangswerten des Modells angibt, optimiert wird, indem Gradienten, zum einen die Ableitung der Bewertungsfunktion nach den Systemparametern, zum anderen die Ableitung der Bewertungsfunktion nach einem Anfangszustandsvektor, minimiert werden.
Anwendung: Modellierung komplexer technischer, z. B. chemischer oder biologischer, Systeme.



DE 197 11 484 C 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Abbildung eines technischen Systems durch einen Rechner. Es ist wichtig, daß vorgebbar technische Systeme durch eine Modellierung geeignet genau beschrieben werden. So ist es von großer Bedeutung, ein komplexes technisches System, beispielsweise einen chemischen Prozeß, der von mehreren Eingabegrößen und mehreren Ausgabegrößen abhängt, geeignet genau zu modellieren (abzubilden), wobei ein Modellierungsfehler, also ein Unterschied zwischen der Modellierung und dem zugrundeliegenden realen System, minimiert werden soll.

Aus [1] ist bekannt, ein Differentialgleichungssystem der Variationsgleichungen anhand von Sensitivitätsmatrizen zu lösen. Dieses Vorgehen weist den Nachteil auf, daß die Berechnung ganzer Sensitivitätsmatrizen viel Rechenzeit erfordert und daß damit ein auf dieser Methode beruhendes Verfahren deutliche Geschwindigkeitseinbußen aufweist.

Aus [2] und [3] sind Verfahren der Lagrange-Multiplikatoren bekannt. Hierbei werden über eine Lösung der sogenannten adjungierten Gleichungen die Lagrange-Multiplikatoren berechnet. Jeder Meßpunkt liefert einen eigenen Beitrag zu den Lagrange-Multiplikatoren, somit sind die adjungierten Gleichungen pro jeweiligen Meßpunkt zu lösen. Solch ein Verfahren ist sowohl äußerst zeitaufwendig, als auch stellt es hohe Anforderungen an den Speicherplatzbedarf auf dem Rechner.

Aus [4] ist bekannt, Optimierungsalgorithmen für große Systeme zu untersuchen. Dabei werden mit differentiellen und algebraischen Gleichungen beschriebene chemische Prozesse mit orthogonaler Kollokation diskretisiert und mit einer sequentiell quadratischen Programmierung optimiert.

Die Aufgabe des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, einen Modellierungsfehler bei der Abbildung eines realen Systems zu minimieren.

Diese Aufgabe wird gemäß den Merkmalen des Patentanspruchs 1 und des Patentanspruchs 2 gelöst.

Hierbei sei angemerkt, daß nachfolgend fettgedruckte Symbole in den Formeldarstellungen Vektoren kennzeichnen.

Der Modellfehler, der bei der Abbildung eines realen Systems in ein Modell entsteht, wird dadurch beschrieben, daß eine Bewertungsfunktion definiert wird. Diese Bewertungsfunktion stellt die Abweichung der im realen System gemessenen Ausgangswerte von den im Modell resultierenden Ausgangswerten dar. Eine Optimierung der Bewertungsfunktion wird dadurch vorgenommen, daß auf dem Rechner Gradienten, die lokale Ableitungen der Bewertungsfunktion an vorgebbaren Werten von Systemparametern und einem Anfangszustandsvektor darstellen, ermittelt werden. Mit Hilfe der Gradientenfunktion wird die Bewertungsfunktion minimiert und das System wird durch die Abbildung (das Modell) optimiert dargestellt.

Eine Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht in der Verwendung einer quadratischen Abweichung als Bewertungsfunktion.

Ferner ist eine Weiterbildung der Erfindung die Zerlegung eines zu betrachtenden Intervalls in mehrere Teilintervalle, auf die jeweils das erfindungsgemäße Verfahren separat angewandt wird und berechnete Teilergebnisse zu dem Gesamtergebnis aufsummiert werden.

Die Erfindung wird anhand von Ausführungsbeispielen, die in der Figur dargestellt sind, näher erläutert.

Es zeigt **Fig.** 1 ein Blockdiagramm, das Schritte des erfindungsgemäßen Verfahrens enthält.

In **Fig.** 1 werden Schritte des erfindungsgemäßen Verfahrens dargestellt. In vielen technischen Anwendungen ist die Aufgabe gestellt, ein System (Ein-Ausgabe-System) der folgenden Form zu modellieren

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}\mathbf{x}(t) &= \mathbf{f}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t), \mathbf{w}) \\ \mathbf{y}(t) &= \mathbf{m}(\mathbf{x}(t), \mathbf{w}) \end{aligned} \qquad (1),$$

wobei ein Modellierungsproblem in der Bestimmung der Systemparameter w besteht. Gleichung (1) ist im Rahmen der Systemtheorie als Zustandsraumdarstellung eines nichtlinearen Systems bekannt. Im Zustandsvektor x ist der interne Zustand des Systems dargestellt. Eine zeitliche Entwicklung der internen Zustände wird durch ein dynamisches System (ein System von Differentialgleichungen) f beschrieben. Neben den konstanten Systemparametern w wird die Zeitentwicklung ggf. noch durch externe Größen, hier Eingabewerte u, die in der Regel zeitabhängig sind, beeinflußt. Ausgabewerte y des Systems, die das Systemverhalten nach außen hin quantifizieren, hängen über eine statische Abbildung m in einer vorgebbaren Art und Weise vom Zustandsvektor x ab. Ferner enthält die statische Abbildung m im Normalfall Parameter, die ebenfalls in den Systemparametern w enthalten sind.

Das Modellierungsproblem besteht in der Bestimmung der Systemparameter w des Systems, das durch Verbindung des dynamischen Systems f mit der statischen Abbildung m beschrieben wird. Bekannt sind gemessene Ausgangswerte des (realen) System n_v zu vorgebbaren Zeitpunkten tv. Diese Zeitpunkte t_v sind monoton geordnet und befinden sich in einem umfassenden Zeitintervall $[t_0, T]$, innerhalb dessen das Systemverhalten untersucht wird. Die gemessenen Ausgangswerte des System nv, die bei einem bestimmten Anfangszustandsvektor x_0 die zeitliche Entwicklung der Ausgabewerte der Modellierung y(t) in diskreter Form beschreiben, werden als eine Meßreihe bezeichnet.

Bei Vorhandensein mehrerer Meßreihen sind alle im folgenden betrachteten Größen für jede Meßreihe einzeln zu bestimmen und die Ergebnisse aufzusummieren. Nachfolgend wird also aus Gründen der Einfachheit und besseren Darstellbarkeit die Existenz nur einer Meßreihe angenommen.

Besitzt das System Eingabewerte u(t), so sind diese ebenfalls als in ihrem Zeitverlauf vorgegeben angenommen.

Das Modellierungsproblem ist gelöst, wenn durch entsprechende Wahl der Systemparameter w in dem dynamischen System f und der statischen Abbildung m eine Übereinstimmung zwischen den gemessenen Ausgangswerten des Systems n_v und den zugehörigen Ausgabewerten der Modellierung $y(t_v)$ erreicht wird. Die Ausgabewerte der Modellierung $y(t_v)$ stammen aus der Modellierung des (realen) Systems nach Gleichung (1) mit den berechneten Systemparametern w

im Zeitintervall $[t_0, T]$, au[redacted]von dem Anfangszustandsvektor x_0. Bei un[redacted]m Anfangszustand ist der Anfangszustandsvektor x_0 ein[redacted]Parameter des Modells und im Rahmen der [redacted]ung zusätzlich zu den Systemparametern w zu bestimmen.

Die technische Lösung des Modellierungsproblems wird dadurch erreicht, daß eine Optimierungsaufgabe formuliert wird. Hierzu wird über eine Bewertungsfunktion die Abweichung zwischen gemessenem Ausgangswert des Systems n_v und Ausgabewerten der Modellierung $y(t_v)$ quantifiziert.

In der Praxis ist eine wichtige beispielhafte Form für die bewertete Abweichung gegeben durch eine quadratische Abweichung

$$e(y(t_v), n_v) = \frac{1}{2}\left(y(t_v) - n_v\right)^2 \qquad (2).$$

Allgemein setzt sich die Bewertungsfunktion zusammen aus der Summe aller bewerteten Abweichungen gemäß

$$E = \sum_v e(y(t_v), n_v) \qquad (3),$$

die im Fall der quadratischen Abweichung (siehe Gleichung (2)) auch als Fehlerquadratsumme bezeichnet wird.

Da die Bewertungsfunktion E von den berechneten Ausgabewerten der Modellierung y in Gleichung (1) abhängt, besteht damit eine indirekte Abhängigkeit zwischen der Bewertungsfunktion E und den Systemparametern w und ggf. von dem Anfangszustandsvektor x_0. Eine Minimierung der Abweichungen zwischen den gemessenen Ausgangswerten des (realen) Systems n_v und den berechneten Ausgabewerten der Modellierung $y(t_v)$ entspricht einer Optimierung der Bewertungsfunktion E. Das Modellierungsproblem ist damit äquivalent zu einer Optimierung der Bewertungsfunktion E durch entsprechende Variation der Systemparameter w und des Anfangszustandsvektors x_0. Die Optimierung zur Bestimmung von den Systemparametern w basiert auf einer Auswertung eines Gradienten

$$\frac{dE}{dw} \quad \text{(Ableitung nach den Systemparametern)} \qquad (g1)$$

und bei unbekanntem Anfangszustandsvektor x_0 zusätzlich auf einer Auswertung eines Gradienten

$$\frac{dE}{dx_0} \quad \text{(Ableitung nach den Anfangszuständen)} \qquad (g2).$$

Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht die effiziente Bestimmung der beiden oben dargestellten Gradienten (g1) und (g2), wobei pro Meßreihe nur eine Integration eines Systems von Differentialgleichungen anfällt.

Hierbei sei angemerkt, daß das Intervall $[t_0, T]$ alternativ in mehrere Teilintervalle zerfallen kann, wobei für jedes dieser Teilintervalle das erfindungsgemäße Verfahren angewandt wird und die für jedes Teilintervall ermittelten Größen für das Gesamtergebnis aufsummiert werden.

Nachfolgend werden die Schritte der Erfindung zur Bestimmung der Gradienten dargestellt.

Im Schritt 1a wird das dynamische System

$$\frac{d}{dt}x(t) = f(x(t), u(t), w) \qquad (4)$$

vorwärts von einem Zeitpunkt t_0 bis zu einem Zeitpunkt T unter Verwendung des Anfangszustandsvektors x_0, der bekannt ist oder als zusätzlicher Parameter eingeführt wird, gelöst. Es ergibt sich ein Endzustand $x(T)$. Ist der Endzustand $x(T)$ anderweitig bekannt, so entfällt Schritt 1a.

Im Schritt 1b wird ein System von Differentialgleichungen

$$\left\{\begin{aligned} \frac{d}{dt}\frac{dE}{dw}(t) &= -\left(\frac{\partial f(x(t), u(t), w)}{\partial w}\right)' \cdot \frac{dE}{dx_0}(t) \\ \frac{d}{dt}\frac{dE}{dx_0}(t) &= -\left(\frac{\partial f(x(t), u(t), w)}{\partial x}\right)' \cdot \frac{dE}{dx_0}(t) \\ \frac{d}{dt}x(t) &= f(x(t), u(t), w) \end{aligned}\right\} \qquad (5)$$

rückwärts von dem Zeitpunkt T bis zu dem Zeitpunkt t_0 gelöst, wobei mit (.)' eine transponierte Matrix bezeichnet wird. Jedesmal bei Erreichen des Meßwertes n_ν ($t_0 \leq t_\nu \leq T$) wird das Lösungsverfahren gestoppt (das gilt sinngemäß auch für den Sonderfall $t_\nu = T$) und nach einer diskontinuierlichen Änderung gemäß

$$\frac{dE}{dx_0}(t_\nu) \mapsto \frac{dE}{dx_0}(t_\nu) + \left(\left.\frac{\partial m}{\partial x}\right|_{x(t_\nu)}\right)' \cdot \frac{\partial e}{\partial y(t_\nu)} \qquad (6)$$

wieder fortgesetzt bis zum nächsten Meßwert oder bis zum Erreichen des Anfangszeitpunkts t_0 (siehe Schritt 1c).

Für den in Gleichung (2) genannten Spezialfall der Fehlerquadratsumme gilt anstelle von Gleichung (6) folgende Änderungsvorschrift.

$$\frac{dE}{dx_0}(t_\nu) \mapsto \frac{dE}{dx_0}(t_\nu) + \left(\left.\frac{\partial m}{\partial x}\right|_{x(t_\nu)}\right)' \cdot \left(m(x(t_\nu), w) - n_\nu\right) \qquad (6a)$$

Als Anfangswerte einer Lösung am Endpunkt T des Intervalls $[t_0, T]$ sind dabei

$$\frac{dE}{dw}(T) := 0, \qquad \frac{dE}{dx_0}(T) := 0, \qquad x(T) \qquad (7)$$

zu verwenden.

In einem Schritt 1d werden die Gradienten nach folgender Vorschrift berechnet:

$$\begin{aligned} \frac{dE}{dw} &= \frac{dE}{dw}(t_0) + \sum_\nu \left(\left.\frac{\partial m}{\partial w}\right|_{x(t_\nu)}\right)' \cdot \frac{\partial e}{\partial y(t_\nu)} \\ \frac{dE}{dx_0} &= \frac{dE}{dx_0}(t_0) \end{aligned} \qquad (8).$$

Für den Spezialfall der Fehlerquadratsumme gilt dann:

$$\begin{aligned} \frac{dE}{dw} &= \frac{dE}{dw}(t_0) + \sum_\nu \left(\left.\frac{\partial m}{\partial w}\right|_{x(t_\nu)}\right)' \cdot \left(m(x(t_\nu), w) - n_\nu\right) \\ \frac{dE}{dx_0} &= \frac{dE}{dx_0}(t_0) \end{aligned} \qquad (8a).$$

Vorteilhaft an der Erfindung ist im Vergleich zur Methode der Variationsgleichungen eine Performanz-Steigerung um

einen Faktor dim x.

Ein weiterer Vorteil der [redacted] darin, daß die Integration mit [redacted] Zwischenergebnisse nur an den Meßpunkten erforderlich ist, nicht aber in einem zur numerischen Integralberechnung sehr fein zu wählenden Raster.

Weiterhin weist die Erfindung vorteilhaft die Eigenschaft auf, daß die Zahl der Integrationen eines Differentialgleichungssystems mit der Anzahl der Meßreihen, nicht aber mit der Anzahl der Meßpunkte steigt.

Schließlich ist das erfindungsgemäße Verfahren wesentlich genauer als eine Methode der finiten Differenzen.

Literatur:

[1] M. Guay, D. D. McLean: Optimization and Sensitivity Analysis for Multiresponse Parameter Estimation in Systems of Ordinary Differential Equations. Computers chem. Engng., Vol. 19, Nr. 12, pp. 1271–1285, 1995, Elsevier Science Ltd.

[2] C. F. Weber, E. C. Beahm, J. S. Watson: Optimal Determination of Rate Coefficients in Multiple-Reaction Systems. Computers Chem., Vol. 16, No. 4, pp. 325–333, 1992.

[3] Berard Marcos, Guy Payre: Parameter Estimation of an Aquatic Biological System by the Adjoint Method. Mathematics and Computers in Simulation 30 (1988), pp. 405–418, North-Holland, Elsevier Science Publishers B. V.

[4] Pu Li und Günter Wozny: Dynamische Optimierung großer chemischer Prozesse mit Kollokationsverfahren am Beispiel Batch-Destillation, Automatisierungstechnik 45 (1997) 3, Seiten 136–143.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Abbildung eines technischen Systems durch einen Rechner,

a) bei dem eine Abweichung von gemessenen Ausgangswerten des technischen Systems und von Ausgangswerten der Abbildung durch folgende Bewertungsfunktion definiert wird:

$$E = \sum_{v} e\left(y(t_v), n_v\right),$$

mit

$$\frac{d}{dt}x(t) = f\left(x(t), u(t), w\right) \quad \text{und}$$

$$y(t) = m\left(x(t), w\right),$$

wobei
t eine Zeitvariable,
y Ausgabewerte der Modellierung,
w Systemparameter,
x einen zeitabhängigen Zustandsvektor,
f() eine zeitliche Entwicklung der internen Zustände der Abbildung des technischen Systems,
u Eingabewerte,
m() eine statische Abbildung,
E die Bewertungsfunktion
e eine bewertete Abweichung,
v eine Zählvariable,
n_v einen gemessenen Ausgangswert des Systems bezeichnen,

b) bei dem durch den Rechner die Bewertungsfunktion dadurch optimiert wird, daß Gradienten

$$\frac{dE}{dw} \quad \text{und} \quad \frac{dE}{dx_0},$$

in folgenden Schritten bestimmt werden, wobei durch x_0 ein Anfangszustandsvektor zum Zeitpunkt t_0 dargestellt wird:

(1) das Differentialgleichungssystem

$$\frac{d}{dt}x(t) = f\left(x(t), u(t), w\right)$$

wird von $t = t_0$ bis $t = T$ gelöst, unter Verwendung des Anfangszustandsvektors x_0, wobei sich ein Endzustand x(T) ergibt,

(2) ein [redacted] on Differentialgleichungen

$$\left\{\begin{array}{c} \frac{d}{dt}\frac{dE}{dw}(t) = -\left(\frac{\partial f(x(t), u(t), w)}{\partial w}\right)' \cdot \frac{dE}{dx_0}(t) \\ \frac{d}{dt}\frac{dE}{dx_0}(t) = -\left(\frac{\partial f(x(t), u(t), w)}{\partial x}\right)' \cdot \frac{dE}{dx_0}(t) \\ \frac{d}{dt}x(t) = f(x(t), u(t), w) \end{array}\right\},$$

wobei ()' die transponierte Matrix ist, wird von T rückwärts bis t_0 gelöst, wobei bei Erreichen des gemessenen Ausgangswerts n_v des Systems zum Zeitpunkt t_v mit $t_0 \le t_v \le T$ das Verfahren unterbrochen wird und nach einer diskontinuierlichen Änderung gemäß

$$\frac{dE}{dx_0}(t_v) \mapsto \frac{dE}{dx_0}(t_v) + \left(\left.\frac{\partial m}{\partial x}\right|_{x(t_v)}\right)' \cdot \frac{\partial e}{\partial y(t_v)}$$

fortgesetzt wird bis zum nächsten Meßwert des Systems oder bis zum Erreichen des Anfangszeitpunkts t_0,
(3) durch die Ergebnisse von Schritt (2) werden, bis auf Korrekturterme, die gesuchten Gradienten dargestellt:

$$\frac{dE}{dw} = \frac{dE}{dw}(t_0) + \sum_v \left(\left.\frac{\partial m}{\partial w}\right|_{x(t_v)}\right)' \cdot \frac{\partial e}{\partial y(t_v)}$$

$$\frac{dE}{dx_0} = \frac{dE}{dx_0}(t_0),$$

c) bei dem die Gradienten minimiert werden und damit das System durch die Abbildung dargestellt wird.

2. Verfahren zur Abbildung eines technischen Systems durch einen Rechner,

a) bei dem eine Abweichung von gemessenen Ausgangswerten des technischen Systems und von Ausgangswerten der Abbildung durch folgende Bewertungsfunktion definiert wird:

$$e(y(t_v), n_v) = \frac{1}{2}(y(t_v) - n_v)^2,$$

mit

$$\frac{d}{dt}x(t) = f(x(t), u(t), w) \quad \text{und}$$

$$y(t) = m(x(t), w),$$

wobei
t eine Zeitvariable,
y Ausgabewerte der Modellierung,
w Systemparameter,
x einen zeitabhängigen Zustandsvektor,
f() eine zeitliche Entwicklung der internen Zustände der Abbildung des technischen Systems,
u Eingabewerte,
m() eine statische Abbildung,

v eine Zählvaria[redacted]
n_v einen gemess[redacted]ngswert des Systems bezeichnen,
b) bei dem durch den Rechner die Bewertungsfunktion dadurch optimiert wird, daß Gradienten

$$\frac{dE}{dw} \quad \text{und} \quad \frac{dE}{dx_0},$$

in folgenden Schritten bestimmt werden, wobei durch x_0 ein Anfangszustandsvektor zum Zeitpunkt t_0 dargestellt wird:

(1) das Differentialgleichungssystem

$$\frac{d}{dt}x(t) = f(x(t), u(t), w)$$

wird von $t = t_0$ bis $t = T$ gelöst, unter Verwendung des Anfangszustandsvektors x_0, wobei sich ein Endzustand $x(T)$ ergibt,

(2) ein System von Differentialgleichungen

$$\left\{\begin{array}{c} \dfrac{d}{dt}\dfrac{dE}{dw}(t) = -\left(\dfrac{\partial f(x(t), u(t), w)}{\partial w}\right)' \cdot \dfrac{dE}{dx_0}(t) \\[2ex] \dfrac{d}{dt}\dfrac{dE}{dx_0}(t) = -\left(\dfrac{\partial f(x(t), u(t), w)}{\partial x}\right)' \cdot \dfrac{dE}{dx_0}(t) \\[2ex] \dfrac{d}{dt}x(t) = f(x(t), u(t), w) \end{array}\right\}$$

wobei ()' die transponierte Matrix ist, wird von T rückwärts bis t_0 gelöst, wobei bei Erreichen des gemessenen Ausgangswerts n_v des Systems zum Zeitpunkt t_v mit $t_0 \leq t_v \leq T$ das Verfahren unterbrochen wird und nach einer diskontinuierlichen Änderung gemäß

$$\frac{dE}{dx_0}(t_v) \mapsto \frac{dE}{dx_0}(t_v) + \left(\left.\frac{\partial m}{\partial x}\right|_{x(t_v)}\right)' \cdot \left(m(x(t_v), w) - n_v\right)$$

fortgesetzt wird bis zum nächsten Meßwert des Systems oder bis zum Erreichendes Anfangszeitpunkts t_0,

(3) durch die Ergebnisse von Schritt (2) werden, bis auf Korrekturterme, die gesuchten Gradienten dargestellt:

$$\frac{dE}{dw} = \frac{dE}{dw}(t_0) + \sum_v \left(\left.\frac{\partial m}{\partial w}\right|_{x(t_v)}\right)' \cdot \left(m(x(t_v), w) - n_v\right)$$

$$\frac{dE}{dx_0} = \frac{dE}{dx_0}(t_0),$$

c) bei dem die Gradienten minimiert werden und damit das System durch die Abbildung dargestellt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem ein Zeitintervall von dem Zeitpunkt t_0 bis zu dem Zeitpunkt T in mehrere Teilintervalle aufgeteilt wird, wobei für jedes Teilintervall die Verfahrensschritte angewandt werden und Einzelergebnisse der jeweiligen Teilintervalle zu einem Gesamtergebnis aufsummiert werden.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

Nummer: DE 197 11 484 C1
Int. [redacted] G 05 B 17/00
[redacted]lichungstag: 3. September 1998

FIG 1